

CNEA AC 36/75

COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA
DEPENDIENTE DE LA PRESIDENCIA DE LA NACION

CENTRAL NUCLEAR EN ATUCHA

EVALUACION DE LA CONCENTRACION DE PRODUCTOS DE FISION
EN EL MEDIO REFRIGERANTE PRIMARIO

E. Díaz

Buenos Aires - Argentina
1975

- 1.- Evaluación del escape a través de las fallas en el elemento combustible.
- 2.- Evaluación de la concentración en el medio refrigerante.

- 1.- En condiciones normales de operación, se considera que el 1% de los elementos combustibles que constituyen el núcleo poseen fallas.

Experiencias de operación en distintas instalaciones han demostrado que el escape de productos de fisión no es tanto función de las dimensiones de la rotura de la vaina, sino de la difusión de estos productos en el óxido de uranio.

Es evidente (ver figura 1) que el escape por unidad de tiempo será proporcional al número de átomos del producto de fisión considerado que se encuentra dentro de la pastilla de óxido de uranio:

$$E = v \cdot N \quad 1)$$

siendo:

$E \left[\frac{\text{átomos}}{\text{seg}} \right]$: velocidad o "rate" de escape del producto de fisión.

$v \left[\frac{1}{\text{seg}} \right]$: factor de escape del producto de fisión.

$N \left[\text{átomos} \right]$: contenido de átomos del producto de fisión dentro de la barra combustible.

El número N de átomos en el interior de la barra será función de la potencia a que opera el reactor y del rendimiento de fisión, es decir del número de fisiones por segundo y del rendimiento de fisión

$$N = \frac{n^{\circ} \text{ fisiones/seg.} \cdot \eta}{\lambda} = \frac{F}{\lambda} \left[\text{átomos} \right] \quad 2)$$

donde:

$F \left[\frac{\text{fisiones}}{\text{seg}} \right]$: fisiones por segundo que aportan el producto considerado.

$\lambda \left[\frac{1}{\text{seg}} \right]$: constante de decaimiento del producto considerado

reemplazando 2) en 1)

$$E = v \frac{F}{\lambda} \quad 3)$$

Para productos de fisión de semiperíodo superior a 1000 segundos, se demuestra que la cantidad de radionucleído que escapa es proporcional a la distancia a la falla y a la constante de decaimiento, cumpliéndose que:

$$v T^{1/2} = \text{cte}$$

$$\text{o bien } K = v \lambda^{-\frac{1}{2}} \left[\text{seg}^{-\frac{1}{2}} \right] \quad 4)$$

Para agujeros standard que determinan el 1% normal el valor de K oscila entre 10^{-5} y $10^{-6} \frac{1}{\text{seg}}$. Los distintos radioisótopos tienen distinto v y distinto λ , pero el producto es constante.

despejando el valor de v de 4) y reemplazando en 3)

$$E = K F \lambda^{-\frac{1}{2}} \quad 5)$$

$$6 \quad E = K \times n^{\circ} \frac{\text{fisiones}}{\text{seg}} \times \eta \times \lambda$$

$$\text{pero } 1 \text{ watt} = 3 \times 10^{10} \frac{\text{fisiones}}{\text{seg}} \quad \therefore$$

$$E = K \times 3 \times 10^{10} \frac{\text{fisiones}}{\text{seg.W}} P [W] \times \eta \times \lambda^{-\frac{1}{2}} \quad 6)$$

Para evaluar el escape de todo el núcleo habrá que considerar el 1% de elementos fallados, es decir contribuirán a la concentración de actividad del refrigerante el 1% de las fisiones por segundo que se producen. En otras palabras, habrá que afectar la 6 por el factor 10^{-2} . Si se considera η en % habrá que multiplicar por otro factor 10^{-2} .

$$E = 3 \times 10^{10} \times K \times P \times \eta \times \lambda^{-\frac{1}{2}} \times 10^{-4}$$

$$\therefore E \left[\frac{\text{átomos}}{\text{seg}} \right] = 3 \times 10^6 \times K \left[S^{-\frac{1}{2}} \right] \times P [W] \times \eta \left[\% \right] \times \lambda^{-\frac{1}{2}} \left[S^{\frac{1}{2}} \right] \quad 7)$$

La 7) puede expresarse en $\frac{\text{Ci}}{\text{seg}}$, recordando que:

$$A \left[\frac{\text{Ci}}{\text{s}} \right] = E \left[\frac{\text{átomos}}{\text{seg}} \right] \cdot \lambda \left[\frac{1}{\text{seg}} \right] \cdot \frac{1}{3,7 \times 10^{10} \frac{\text{átomo}}{\text{seg}}} \quad 8)$$

$$\boxed{A \frac{\text{Ci}}{\text{seg}} = 0,81 \times 10^{-4} \times K \left[\text{s}^{-\frac{1}{2}} \right] \times P \left[\text{W} \right] \times \eta \left[\% \right] \times \lambda^{\frac{1}{2}} \left[\text{s}^{-\frac{1}{2}} \right]} \quad 9)$$

En la tabla I, se dan los resultados de la aplicación de la expresión 9) para los productos de fisión más importantes (iodo y gases nobles). Además se indica el escape específico $\alpha [\text{Ci/s W}]$ ó $[\mu\text{Ci/s MW}]$.

El valor de A ha sido calculado para una potencia de 1100 MW (Central Nuclear Atucha) y para un valor de K de 10^{-5} .

- 2.- Evaluación de la concentración en el medio refrigerante. De acuerdo al esquema de la figura 2, los productos de fisión al escapar de la barra combustible pasarán al agua del circuito primario. Ya en el seno del primario, los mismos decaerán. Si existe un sistema de limpieza del refrigerante, parte de los mismos quedarán retenidos en este sistema. Puede entonces plantearse la ecuación diferencial correspondiente a este modelo:

$$\frac{dA}{dt} = \alpha P - \lambda A - \frac{\delta}{V} A \quad 10)$$

siendo:

$A [Ci]$: contenido de actividad en el refrigerante primario.

$\alpha \left[\frac{Ci}{S \cdot W} \right]$: escape específico

$P [W]$: Potencia térmica

$\delta \left[\frac{m^3}{h} \right]$: rate de limpieza o velocidad de extracción para limpieza

$V [m^3]$: Volumen del medio refrigerante

La ecuación 10) deberá plantearse para cada producto de fisión para el cual el sistema de limpieza sea efectivo (se supone por simplicidad rendimiento 100%).

La solución de la 10) para regimen estacionario es $\left(\frac{dA}{dt} \right) = 0$

$$A \left(\frac{\delta}{V} + \lambda \right) = \alpha P$$

$$\therefore A = \frac{\alpha P}{\lambda + \frac{\delta}{V}} \quad 11)$$

La concentración de actividad en el refrigerante primario será:

$$C = \frac{A}{V} = \frac{\alpha P}{\lambda V + \delta} \left[\frac{Ci}{m^3} \right] \quad 12)$$

En la tabla II se calculan las concentraciones esperadas en el circuito primario para un valor de $\delta = 20 \text{ m}^3/\text{h}$, $V = 240 \text{ m}^3$

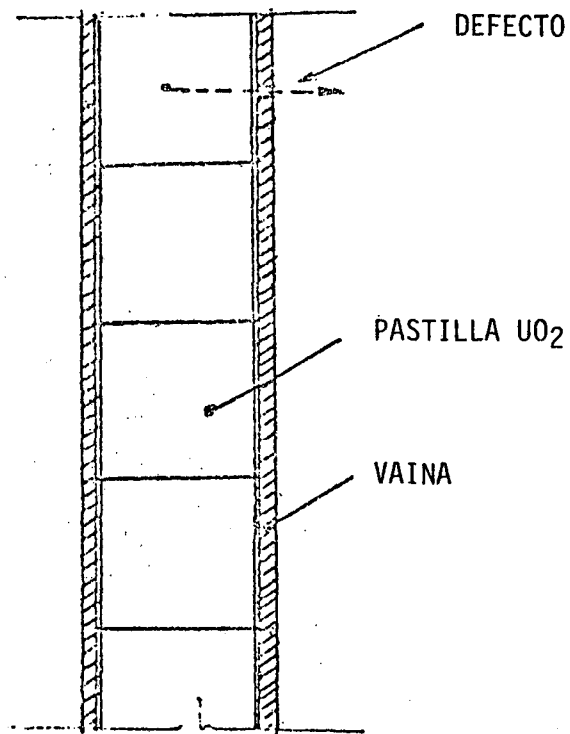
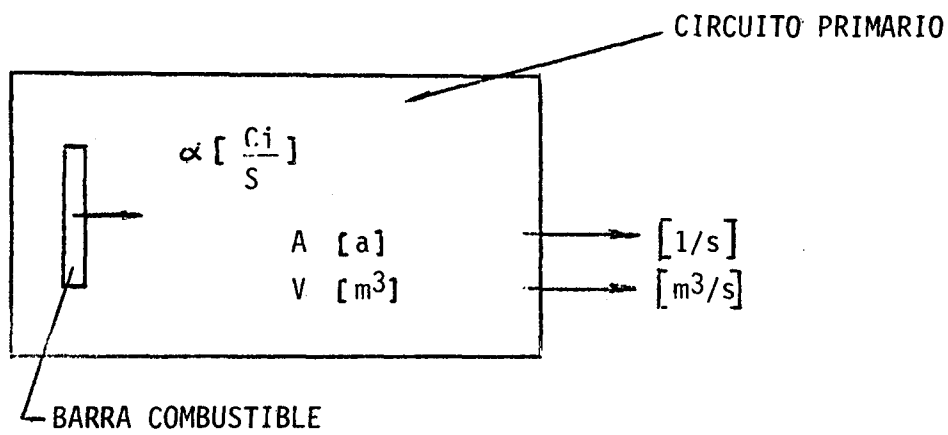


FIG. 1



$$\frac{dA}{dt} = \alpha - \lambda - \frac{\delta}{V} A$$

FIG. 2

TABLA I

Radionucleido	$\lambda \left[1/s \right]$	$\lambda^{\frac{1}{2}}$	$n \left[\% \right]$	$A \left[\frac{Ci}{S} \right]$	$\alpha \left[\frac{Ci}{S \cdot W} \right]$	$\alpha \left[\frac{\mu Ci}{SMW} \right]$
Kr 87	$1,49 \times 10^{-4}$	$1,22 \times 10^{-2}$	2,4	$2,6 \times 10^{-2}$	$2,37 \times 10^{-11}$	23,7
Kr 88	$7,0 \times 10^{-5}$	$8,36 \times 10^{-3}$	3,0	$2,23 \times 10^{-2}$	$20,3 \times 10^{-12}$	20,3
Kr 85 m	$4,45 \times 10^{-5}$	$6,67 \times 10^{-3}$	1,30	$7,72 \times 10^{-3}$	$7,02 \times 10^{-12}$	7,02
Kr 85	$2,16 \times 10^{-9}$	$4,64 \times 10^{-5}$	0,29	$1,18 \times 10^{-5}$	$1,08 \times 10^{-14}$	$1,08 \times 10^{-2}$
Xe 138	$6,8 \times 10^{-4}$	$2,60 \times 10^{-2}$	5,5	$1,27 \times 10^{-1}$	$11,58 \times 10^{-11}$	115,8
Xe 133	$1,53 \times 10^{-6}$	$1,23 \times 10^{-3}$	6,62	$7,24 \times 10^{-3}$	$6,59 \times 10^{-12}$	6,59
I 135	$2,9 \times 10^{-5}$	$5,38 \times 10^{-3}$	6,0	$2,87 \times 10^{-2}$	$26,14 \times 10^{-12}$	26,14
I 133	$9,2 \times 10^{-6}$	$3,0 \times 10^{-3}$	6,5	$1,73 \times 10^{-2}$	$15,79 \times 10^{-12}$	15,79
I 131	$1,0 \times 10^{-6}$	$1,0 \times 10^{-3}$	2,9	$2,57 \times 10^{-3}$	$2,34 \times 10^{-12}$	2,34

TABLA II

Radionucleido	$\lambda \left[1/s \right]$	$\delta \left[m^3/h \right]$	$\delta \left[m^3/s \right]$	$A \left[\frac{Ci}{s} \right]$	$C \left[\frac{Ci}{m^3} \right]$	$C^* \left[\frac{Ci}{m^3} \right]$
Kr 87	$1,49 \times 10^{-4}$	20	$5,55 \times 10^{-3}$	$2,6 \times 10^{-2}$	0,63	$7,27 \times 10^{-1}$
Kr 88	$7,0 \times 10^{-5}$	20	$5,55 \times 10^{-3}$	$2,23 \times 10^{-2}$	1,0	1,32
Kr 85 m	$4,45 \times 10^{-5}$	20	$5,55 \times 10^{-3}$	$7,72 \times 10^{-3}$	0,47	$7,22 \times 10^{-1}$
Kr 85	$2,16 \times 10^{-9}$	20	$5,55 \times 10^{-3}$	$1,18 \times 10^{-5}$	$2,12 \times 10^{-3}$	22,76
Xe 138	$6,8 \times 10^{-4}$	20	$5,55 \times 10^{-3}$	$1,27 \times 10^{-1}$	0,75	0,77
Xe 133	$1,53 \times 10^{-6}$	20	$5,55 \times 10^{-3}$	$7,24 \times 10^{-3}$	1,22	19,7
I 135	$2,9 \times 10^{-5}$	20	$5,55 \times 10^{-3}$	$2,87 \times 10^{-2}$	2,29	4,12
I 133	$9,2 \times 10^{-6}$	20	$5,55 \times 10^{-3}$	$1,73 \times 10^{-2}$	2,22	7,83
I 131	$1,0 \times 10^{-6}$	20	$5,55 \times 10^{-3}$	$2,57 \times 10^{-3}$	0,44	10,7

* Sin desgasado
y sin limpieza